

Wytwarzanie energii elektrycznej z wykorzystaniem odnawialnych zasobów energii.

Wykład trzeci Elektrownie słoneczne

Autorzy: Prof. nzw. dr hab. inż. Józef Paska, mgr inż. Mariusz Sałek, mgr inż Tomasz Surma

(„Energetyka” – marzec 2005)

Energia słoneczna może być przetwarzana na ciepło lub na energię elektryczną. Przy konwersji na ciepło, promieniowanie słoneczne ogrzewa płyn roboczy, który spełnia funkcję przekaźnika ciepła (stosunkowo rzadko są stosowane pompy ciepła). Produkcja energii elektrycznej z energii słonecznej w elektrowniach słonecznych może odbywać się dwiema metodami:

- pośrednią, zwaną również termodynamiczną (helio termiczna), związaną z wytworzeniem ciepła czynnika termodynamicznego elektrowni cieplnej; proces technologiczny elektrowni słonecznej jest w tym przypadku prawie identyczny jak w klasycznej elektrowni cieplnej, z tym że funkcję kotła parowego spełnia kocioł słoneczny (rozwiązania przedstawione na rys. 11 a i b);
- bezpośrednią (fotowoltaiczna), polegającą na wykorzystaniu przetworników fotoelektrycznych i termoemisyjnych (głównie fotoelektrycznych -ogniw słonecznych).

Helio termiczny system wytwarzania energii elektrycznej składa się z co najmniej czterech elementów: urządzenia do koncentracji promieniowania słonecznego, systemu do przetwarzania skoncentrowanych promieni słonecznych w ciepło czynnika roboczego, układu przesyłu czynnika oraz układu generującego energię elektryczną.

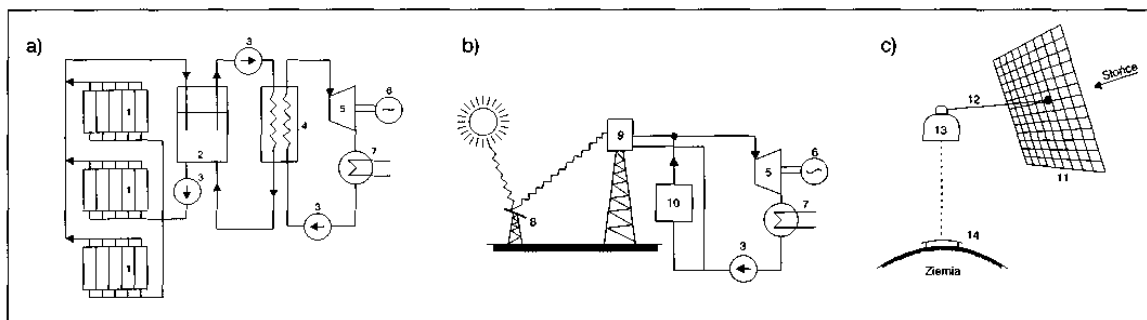
Spotykane są dwa zasadnicze typy elektrowni:

- 1) zdecentralizowany, w którym wiele odbiorników przetwarza energię słoneczną w ciepło przesyłane następnie do obiektu centralnego;
- 2) scentralizowany, w którym układ nadążających za Słońcem zwierciadeł (helio statów) przekazuje energię do centralnego odbiornika, umieszczonego na wieży (elektrownie helio termiczne typu wieżowego); zaletą układu jest brak przesyłu czynnika roboczego za pomocą systemu rur, wymaga on jednak precyzyjnego śledzenia Słońca i koncentracji promieni na odbiorniku centralnym (rys. 11 b).

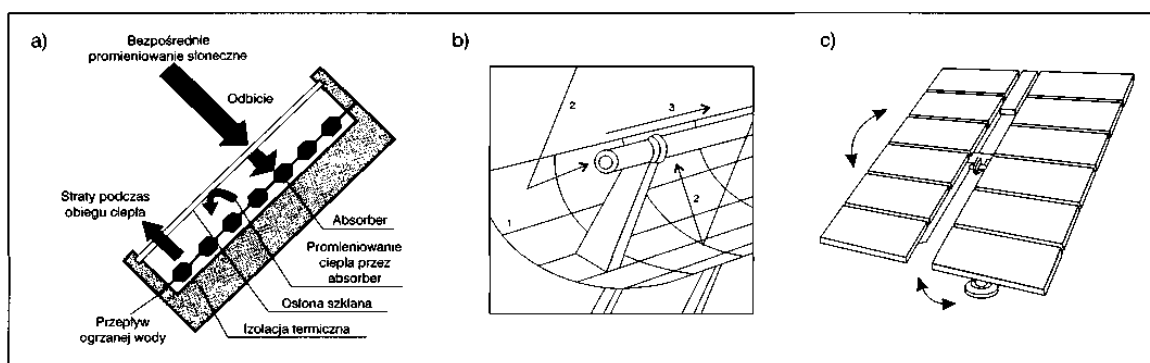
Ze względu na przerwy w nasłonecznieniu może być celowe wprowadzenie do układu elektrowni helio termicznej urządzenia do akumulacji ciepła lub dodatkowego kotła na paliwo ciekłe lub gazowe. Po wprowadzeniu kotła dodatkowego powstaje układ hybrydowy (kombinowany) elektrowni słonecznej helio termicznej (rys. 11 b).

Przy wykorzystaniu metody pośredniej pozyskiwanie energii promieniowania Słońca jest możliwe dzięki zastosowaniu:

- płaskich kolektorów słonecznych,
- koncentracji liniowej lub punktowej,
- koncentracji helio statycznej (rys. 12).



Rys. 11. Schematy ideowe elektrowni słonecznych:
 a) elektrownia heliologiczna z kolektorami słonecznymi (typ 1), b) elektrownia heliologiczna hybrydowa (kombinowana) typu wieżowego z koncentracją heliostatyczną (typ 2), c) elektrownia fotowoltaiczna kosmiczna;
 1 - system kolektorów słonecznych, 2 - zbiornik ogrzanej wody, 3 - pompa, 4 - wymiennik ciepła (wytwornica pary freonu), 5 - turbina, 6 - generator, 7 - skrapiacz, 8 - lustro heliostatów, 9 - kocioł słoneczny, 10 - kocioł dodatkowy (na olej opałowy lub gaz), 11 - baterie ogniw słonecznych, 12 - elektryczna linia przesyłowa, 13 - antena emitująca, 14 - antena odbiorcza



Rys. 12. Urządzenia do pozyskiwania energii słonecznej:
 a) płaski kolektor słoneczny, b) kolektor z koncentratorem parabolicznym, c) heliostat śledzący dwuosiowy;
 1 - koncentratorem rynnowy, 2 - promienie słoneczne, 3 - ogrzewany olej

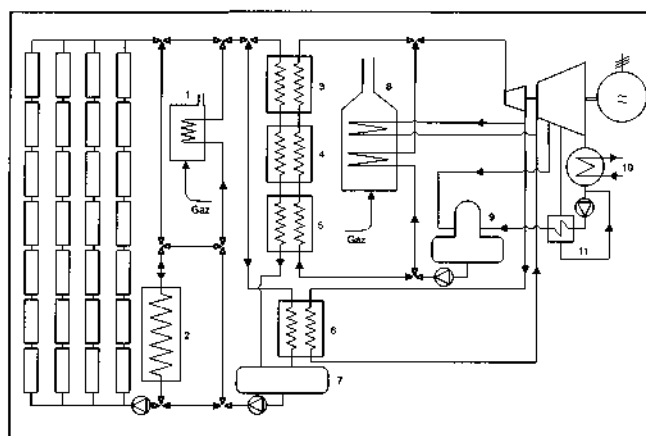
Płaskie kolektory słoneczne poddane bezpośredniemu działaniu promieniowania słonecznego pozwalają uzyskać jedynie stosunkowo niskie temperatury czynnika roboczego (80-90°C), a zatem mogą być stosowane do ogrzewania oraz w elektrowniach słonecznych heliologicznych dwuczynnikowych, z niskowrzącym głównym czynnikiem roboczym, jak np. freon. Płaskie kolektory słoneczne (rys. 12 a) mają prostą budowę oraz tę zaletę, że wykorzystują także rozproszone promieniowanie Słońca. Ze względu jednak na małą sprawność i wynikającą z tego konieczność pokrywania nimi dużych powierzchni są mniej efektywne ekonomicznie od kolektorów koncentrujących.

W przypadku zastosowania płaskich kolektorów słonecznych w układzie elektrowni heliologicznej (typu 1) ogrzana w kolektorach woda jest przekazywana do zbiornika centralnego. Następnie woda z warstwy powierzchniowej zbiornika oddaje ciepło w wymienniku - generatorze pary czynnika niskowrzącego (np. freon) i wraca do zbiornika, a następnie jest tłoczona z powrotem do systemu kolektorów (rys. 11 a). Para freonu napędza turbinę i sprzężony z nią generator elektryczny. Możliwe do uzyskania sprawności są niewielkie - poniżej 10%. Koncepcja budowy elektrowni słonecznej z czynnikiem niskowrzącym, zasilanej z baterii płaskich kolektorów słonecznych, mimo że znana od dawna, nie znalazła praktycznego zastosowania.

Koncentracja promieniowania słonecznego pozwala uzyskać temperatury nawet do 3500°C - praktyczne zastosowanie znalazła koncentracja polegająca na wykorzystaniu zwierciadlanych koncentratorów parabolicznych rynnowych (rys. 12 b)

- ognisko liniowe, talerzowych - ognisko punktowe oraz systemów płaskich zwierciadeł śledzących, zwanych heliostatami (rys. 12 c).

W przypadku koncentratorów parabolicznych stopień koncentracji promieniowania wynosi od 150 do 300 - talerzowe i 30 do 70 - rynnowe. Kolektory słoneczne z koncentratorami parabolicznymi są stosowane w elektrowniach heliologicznych zdecentralizowanych (typ 1) i pozwalają uzyskiwać temperatury czynnika roboczego: do 750°C - talerzowe, do 400°C - rynnowe. Kolektory rynnowe umożliwiają śledzenie pozornego ruchu Słońca w jednej tylko płaszczyźnie (pionowej), podczas gdy kolektory talerzowe są wyposażone w urządzenia do śledzenia pozornego ruchu Słońca, zarówno w płaszczyźnie poziomej, jak i pionowej. Jednak kolektory rynnowe mają przewagę pod względem strat ciepła przy transporcie czynnika roboczego z umieszczonego w ognisku odbiornika promieniowania do wymiennika ciepła.



Rys. 13. Schemat blokowy elektrowni słonecznej w Kramer Junction:
 1 - podgrzewacz gazowy (planowany), 2 - magazyn energii (planowany), 3 - słoneczny przegrzewacz pary,
 4 - wytwornica pary, 5 - słoneczny podgrzewacz wstępny,
 6 - słoneczny przegrzewacz wtórny, 7 - zbiornik wyrównawczy,
 8 - kotłoci gazowy, 9 - odgazowywacz, 10 - skraplacz,
 11 - wstępny podgrzewacz niskiego ciśnienia

Podstawowe dane techniczne kolektorów słonecznych rynnowych firmy LUZ Corporation Tabela 7

Charakterystyka	LS-1	LS-2	LS-3
Data uruchomienia (po raz pierwszy)	1984	1986	1988
Powierzchnia zwierciadeł, m ²	128	235	545
Długość rynien, m	50,2	47,1	99,0
Liczba zwierciadeł	64	120	224
Stopień odbicia, %	94	94	94
Średnica rury absorpcyjnej, mm	42,4	70	70
Stopień absorpcji, %	94	94/97	94/97
Temperatura wyjściowa oleju termicznego, °C	307-315	349-397	349-397
Maksymalna sprawność termiczna, %	66	66	68
Średnia roczna sprawność termiczna, %	51	50	53
Dopuszczalna prędkość wiatru podczas eksploatacji, km/h	56	56	56
Niszcząca prędkość wiatru, km/h	128	128	128

Począwszy od 1984 r. firma *LUZ Corporation* z Los Angeles rozpoczęła budowę na pustyni Mojave w Kramer Junction w Kalifornii szeregu elektrowni heliologicznych zdecentralizowanych. W skład elektrowni wchodzi 9 bloków energetycznych przekazywanych sukcesywnie w latach 1986-1991, zwanych w skrócie SEGS (Solar Electric

Generation System). Pierwszy z bloków, SEGS-1, ma moc elektryczną 13,8 MW, sześć następnych po 30 MW, a dwa ostatnie po 80 MW. Obecnie elektrownia ta jest największą elektrownią słoneczną na świecie o mocy elektrycznej 354 MW.

Oprócz parowego obiegu słonecznego instalacja SEGS ma drugi obieg parowy z wytwornicą pary na gaz ziemny. Udział w produkcji energii elektrycznej obiegu słonecznego wynosi średnio 70%. Na rysunku 13 przedstawiono uproszczony schemat tej elektrowni

Podstawowy element instalacji SEGS - kolektory rynnowe są budowane w trzech modelach: LS-1, LS-2 i LS-3. Ich podstawowe dane zawiera tabela 7.

Rury absorpcyjne przechodzące przez ogniskowe zwierciadeł rynien parabolicznych są pokryte warstwą czarnego chromu i znajdują się wewnątrz rur szklanych próżniowych dla uniknięcia strat ciepłych. Czynnikiem roboczym jest olej termiczny. Koszty jednostkowe modelu LS-1, wynoszące 600 USD/m², zostały w modelu LS-2 obniżone do 600 USD/m². W instalacjach SEGS-6 i SEGS-7 uzyskuje się parametry przedstawione w tabeli 8.

Koszty wytwarzania energii elektrycznej zmalały z ok. 23 USc/(kWh) w pierwszej instalacji firmy *LUZ*, do ok. 10 USc/(kWh) w instalacji SEGS-7. Jeśli moc instalacji zostanie zwiększona do 80 MW, koszt produkcji energii elektrycznej przy ruchu czysto słonecznym wyniesie 7-8 USc/(kWh), a w przyszłości zmaleje do 5-6 centów.

Alternatywne rozwiązanie elektrowni heliologicznej (typ 2) pozwala uzyskać zdecydowanie wyższe temperatury niż jest to możliwe przy wykorzystaniu zwierciadeł parabolicznych. Systemy płaskich zwierciadeł śledzących, zwanych heliostatami, pozwalają na koncentrowanie promieni słonecznych na odbiorniku -kotle parowym, umieszczonym na odpowiednio wysokiej wieży. Układ elektrowni w pozostałej części w zasadzie nie różni się od układu konwencjonalnej elektrowni parowej. Elektrownie tego typu (wieżowe) mogą być wyposażone w układ do akumulacji energii (ciepła) lub dodatkowy kocioł parowy. Uzyskuje się dzięki temu powiększenie rocznego czasu wykorzystania mocy zainstalowanej elektrowni oraz obniżenie jednostkowego kosztu wytwarzania energii elektrycznej.

Dane techniczne instalacji SEGS-6 i SEGS-7

Tabela 8

Charakterystyka	SEGS-6	SEGS-7
Czas budowy, miesiące	16	15
Moc netto, MW	30	30
Roczne zużycie gazu, tys. m ³	8150	8150
Roczna produkcja energii elektrycznej, GWh	90,58	94,41
w tym: w instalacji słonecznej, %	76	76
w instalacji gazowej, %	24	24
Roczny czas pracy (łącznie z gazem), h	3019	3147
Objętość oleju termicznego, m ³	371,5	349
Pole powierzchni kolektorów, m ²	188000	183120
w tym: LS-2, %	100	48,4
LS-3, %	-	51,6
Temperatura wyjściowa oleju, °C	393	393
Temperatura i ciśnienie pary obiegu słonecznego, °C/MPa	371/10	371/10
Temperatura i ciśnienie pary obiegu gazowego, °C/MPa	510/10	510/10
Sprawność obiegu słonecznego/gazowego, %	37,7/39,5	37,5/39,5
Koszt jednostkowy, USD/kWh	3866	3896
Przewidywany czas pracy, lata	30	30

Zasadniczy element składowy elektrowni heliologicznej typu wieżowego stanowi pole

heliostatów o kształcie koła (SPP-5) lub elipsy (Solar One) z wieżą w punkcie centralnym, bądź też sektora (Themis) z wieżą zlokalizowaną na węższym jego skraju. Heliostaty (rys. 12 c) są wyposażone w układy sterujące, zapewniające precyzyjne śledzenie pozornego ruchu Słońca, dzięki możliwości obrotu wokół dwóch osi. Muszą one wytrzymywać duże naprężenia powodowane działaniem wiatru, a także powinny dać się ustawiać w dowolnym położeniu poza obszarem pracy: pionowo - osłona przed gradem, poziomo - ochrona przed silnym wiatrem, do góry dnem - ochrona powierzchni przed burzą piaskową.

Pierwszą niewielką elektrownię tego typu o mocy 100 kW wybudowano w pobliżu Genui i oddano do eksploatacji w 1972 r. (Francuzi uważają, że to oni jako pierwsi na świecie wybudowali elektrownię słoneczną; listopad 1976 r., Odeillo w Pirenejach). W latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych zbudowano i zaprojektowano wiele elektrowni tego typu, w tym jedną z największych elektrowni słonecznych typu wieżowego *Solar One* (10 MW) w Dagett, California (Barstow). Ich ważniejsze dane zawiera tabela 9. Najważniejszy obecnie jest projekt Phoebus, opracowany przez konsorcjum, w skład którego wchodzi: niemiecki program technologiczny GAST, szwajcarskie studium Metaroz i studium amerykańskie, przewidujący budowę w Jordanii elektrowni wieżowej o mocy 30 MW. Sukces projektu pozwoli na odbudowę nieco nadwątlonego zaufania co do perspektyw tego rozwiązania

Pole heliostatów elektrowni *Solar One* zajmuje obszar ok. 30 ha i ma kształt elipsy. Każdy heliostat zawiera 12 zwierciadeł o łącznej powierzchni 40 m² i waży 1155 kg. Heliostaty przekazują moc ok. 40 MW, w postaci ciepła, do centralnego absorbera, zbudowanego z 24 wiązek rur o średnicy wewnętrznej 6,8 mm i zewnętrznej 12 mm. Rury są wykonane ze specjalnego stopu Incoloy 800 (48% Fe, 32% Ni, 20% Cr). Para z absorbera o parametrach 516°C, 10,35 MPa zasila turbinę parową, a jej nadmiar po schłodzeniu do temperatury ok. 316°C przechodzi do zasobnika (akumulatora) ciepła, wykonanego w postaci cylindrycznego zbiornika o wysokości 14,5 m i średnicy 19 m, wypełnionego żwirem zmieszany z olejem termicznym.

Akumulator ciepła pozwala na pracę elektrowni z mocą 7 MW przez 7 dni po 4 h dziennie. Nakłady inwestycyjne budowy elektrowni wyniosły: *Solar One* - 15 000, *Themis* - 12 000, *Eurelios* - 12 000, *Cesa-1* - 15 000 USD/kW.

Sprawności elektrowni heliologicznych typu wieżowego nieznacznie przekraczają 20%.

Metoda bezpośrednia polega na wykorzystaniu do produkcji energii elektrycznej generatorów fotoelektrycznych, termoelektrycznych lub termoemisyjnych [15, 16]. Najszersze zastosowanie znalazły fotoogniwa (ogniwa słoneczne) krzemowe. Światowy rynek ogniw słonecznych ocenia się obecnie na ok. 40 MW/a, zaś elektrownie słoneczne fotowoltaiczne są uważane za najbardziej perspektywiczne. Są one jeszcze bardzo drogie, lecz ich koszt systematycznie maleje. Wytworzenie 1 kWh energii elektrycznej na drodze fotowoltaicznej kosztowało w 1973 r. 60 USD, 1 USD w 1980 r. i 20-30 USc. obecnie. Aktualny koszt jest jednak jeszcze ok. pięciokrotnie wyższy niż koszt energii elektrycznej z elektrowni konwencjonalnych.

Sprawności ogniw słonecznych osiągnęły w warunkach laboratoryjnych wartości: 28,5% (ogniwa z krzemu monokrystalicznego) oraz 35% (ogniwa dwukaskadowe z arsenku galu).

Praktycznie uzyskiwane sprawności są mniejsze i nie przekraczają 20%. Powierzchnia

zajmowana przez ogniwa słoneczne nie stanowi w istocie ograniczenia dla rozwoju elektrowni słonecznych fotowoltaicznych. Ocenia się, że ogniwa słoneczne o sprawności 12%, zajmujące powierzchnię 40 m² i zlokalizowane na południowej połaci dachu w obszarze o średnim dla warunków północnoamerykańskich (USA) nasłonecznieniu, mogą wytworzyć tyle energii elektrycznej, ile potrzebuje typowe gospodarstwo domowe. Wytworzenie całej produkcji energii elektrycznej USA wymagałoby zajęcia powierzchni ok. 34 000 km², co stanowi mniej niż 0,37% powierzchni kraju.

Największą na świecie elektrownią fotowoltaiczną była oddana do eksploatacji w 1984 r. elektrownia *Carissa Plain* (południowa Kalifornia, USA), o mocy zainstalowanej 6,5 MW. Elektrownia zajmowała powierzchnię 160 akrów (1 akr • 0,4047 ha • 4047 m²), czyli jej „wydajność” wynosiła 10 W/m². W warunkach standardowych (STG - Standard Test Condition), tzn. odpowiadających rozkładowi widmowemu promieniowania Słońca AM³) 1,5 przy gęstości mocy 1000 W/m² i w temperaturze 25°C, elektrownia wytwarzała moc 5,2 MW prądu przemiennego (falowniki). Maksymalna wartość mocy, zanotowana w październiku 1985 r., wynosiła 5,7 MW. W 1986 r. średnia dzienna produkcja energii wyniosła 36,7 MWh. Ruch ogniw, śledzący za położeniem Słońca, odbywał się w dwóch osiach. Pomimo dobrych wyników eksploatacyjnych elektrownia na początku lat 90. XX wieku została zdemontowana, a moduły fotowoltaiczne sprzedano do wykorzystania w innych obiektach.

Charakterystyka elektrowni heliologicznych typu wieżowego [1, 31-32]

Tabela 9

Nazwa instalacji	Kraj	Moc elektryczna, MW	Czynnik roboczy w odbiorniku	Medium magazynujące	Rok budowy
SSPS	Hiszpania	0,5	ciekły sód	ciekły sód	1981
EURELIOS	Włochy	1,0	woda/para wodna	sole azotowe/woda	1981
SUNSHINE	Japonia	1,0	woda/para wodna	sole azotowe/woda	1981
Solar One	USA	10,0	woda/para wodna	olej/złoże kamienne	1982
CBSA-1	Hiszpania	1,0	woda/para wodna	Sole azotowe	1983
MSRE/Cat B	USA	1,0	sole azotowe	sole azotowe	1984
THEMIS	Francja	2,5	sole azotowe Hitec	sole azotowe Hitec	1984
SPP-5	Rosja	5,0	woda/para wodna	woda	1986
TSA	Hiszpania	1,0	powietrze	złoże ceramiczne	1993
Solar Two	USA	10,0	sole azotowe	sole azotowe	1996

Porównanie słonecznych elektrowni kosmicznych z naziemnymi elektrowniami fotowoltaicznymi

Tabela 10

Charakterystyka	Elektrownia słoneczna naziemna	Elektrownia słoneczna kosmiczna
Gęstość mocy promieniowania Słońca, kW/m ²	1,00	1,34
Promieniowanie słoneczne na powierzchnię horyzontalną, kW.h/(m ² .a)	1450	11500
Roczny czas użytkowania elektrowni, h/a)	2800	8500
Roczna produkcja energii z 10000 m ² ogniw słonecznych, MWh	500	4250

W Europie dużą elektrownię słoneczną fotowoltaiczną wybudowano w 1983 r. na wyspie Pellworm (Niemcy) na morzu Północnym. Ogniwa słoneczne o wymiarach 100x100 mm zostały zmontowane w panele po 30 sztuk. Powierzchnie czynne ogniw zostały pokryte warstwami przeciwdobaskowymi, a każdy panel jest przykryty płytą szklaną, chroniącą ogniwa przed czynnikami atmosferycznymi. Przestrzeń między płytą a ogniwami krzemowymi jest wypełniona przezroczystym tworzywem sztucznym.

Na wyspie znajduje się 17 568 paneli, ustawionych pod odpowiednim kątem. Są one podzielone na 33 grupy przyłączone do dwóch par szyn zbiorczych. Rocznie elektrownia wytwarza średnio 280 MWh energii elektrycznej i pokrywa w pełni zapotrzebowanie ośrodka wypoczynkowego: jest ogrzewana woda w basenie, łaźnia parowa, kuchnia, oddziały masaży,

kąpieli leczniczych itp. W ciągu dnia nadmiar energii jest gromadzony w dużej baterii akumulatorów: masa 153 t, zajmowana powierzchnia 10x13 m, dzięki czemu jest możliwe zasilanie odbiorników w czasie przerw w nasłonecznieniu (wieczory, noce, dni pochmurne). Ponadto nadwyżka energii jest oddawana do miejskiej sieci elektroenergetycznej.

Dla zwiększenia efektywności pozyskiwania energii słonecznej oraz uniezależnienia się od warunków pogodowych projektuje się w przyszłości budowę elektrowni słonecznych fotowoltaicznych na orbicie geostacjonarnej - elektrowni kosmicznych. Zalety elektrowni kosmicznych w porównaniu z rozwiązaniem naziemnym zestawiono w tabeli 10.

Projekt amerykański zakłada produkcję energii elektrycznej metodą fotowoltaiczną (rys. 11 c) w 60 satelitach-elektrowniach o mocy jednostkowej po 5000 MW. Masa każdego satelity-elektrowni wyniesie od 35 do 50 tys. ton. System przesyłania energii na Ziemię będzie się składał z urządzenia emitującego wiązkę fal ultrakrótkich dużej mocy, umieszczonego na satelicie oraz anteny odbiorczej na powierzchni Ziemi. Antena nadawcza na satelicie będzie miała średnicę ok. 1 km, odbiorcza na Ziemi będzie elipsą (13-10 km). Promieniowanie w centrum anteny odbiorczej będzie miało moc większą od dopuszczalnej według przepisów amerykańskich $GO \text{ m W/cm}^2$). Antena będzie więc otoczona kilometrową strefą ochronną, w której będzie obowiązywał zakaz budowy mieszkań oraz przebywania.

Według innej koncepcji, kosmiczne elektrownie słoneczne, wykorzystujące metodę heliologiczną z obiegiem gazowym i cyklem termodynamicznym Braytona, będą składać się z modułów o mocy 50-500 MW. Zasadnicze elementy modułu to zwierciadło paraboliczne o średnicy 300-1000 m, odbiornik promieniowania (umieszczony w ognisku zwierciadła), turbina gazowa (czynnik roboczy - hel), wymiennik ciepła -rekuperator, chłodnica i sprężarka. Sprawność układu może wynieść ok. 58% (temperatura gazu na wlocie do turbiny 873 K, temperatura na wlocie do sprężarki 100 K), dzięki niskiej temperaturze w chłodnicy.

Mniejsze moduły tego typu, o mocy 50-400 kW, mogą być stosowane jako źródła zasilania stacji kosmicznych (projekt NASA). Czynnikiem roboczym będzie w nich mieszanina helu i ksenonu. Akumulator ciepła zawierający mieszaninę eutektyczną LiF i CaF₂ zapewni produkcję energii elektrycznej na zaciemionych odcinkach orbity. Ponieważ powierzchnia chłodnicy jest ograniczona, temperatura w chłodnicy wyniesie 400-550 K. Przy temperaturze na wlocie do turbiny 1350 K sprawność modułu słonecznego wyniesie 15,2-28,4%.

Ostatnio moduły fotowoltaiczne są coraz częściej wykorzystywane do zasilania w energię elektryczną budynków mieszkalnych i komercyjnych, przy czym są one bezpośrednio na tych budynkach zamontowane. Są to tzw. fasady słoneczne i dachy słoneczne, zwane w literaturze anglosaskiej BIPVS (Building Integrated Photovoltaic Systems). Przykładem takiej instalacji jest obiekt o mocy szczytowej 1 MW, przekazany do użytku w marcu 1999 r. w Herne-Sodingen koło Essen (zagłębie Ruhry, Niemcy), gdzie na dachu zainstalowano 2900 paneli PV o łącznej powierzchni 9800 m², a na ścianie południowo-zachodniej 284 panele o powierzchni 800 m².

³⁾ AM (Air Mass) - współczynnik oznaczający względną szerokość atmosfery ziemskiej, określony jako stosunek drogi pokonywanej przez promieniowanie słoneczne przy przechodzeniu przez atmosferę do jej minimalnej długości (w zenicie nad równikiem). Wartość AM określa więc warunki nasłonecznienia i odpowiadający im rozkład widmowy promieniowania: AM 0 - warunki panujące na granicy atmosfery; AM 1 - warunki na powierzchni Ziemi, na równiku (szerokość geograficzna $H \cdot 90^\circ$), AM 1,5 - warunki na powierzchni dla $H \cdot 41,8^\circ$; AM 2 - warunki na powierzchni dla $H \cdot 30^\circ$; AM 4 - warunki na powierzchni dla $H \cdot 14,5^\circ$.

LITERATURA

- [1] Bogdanienko J.: Odnawialne źródła energii. PWN, Warszawa 1989
- [2] Boyle G. (Ed.): Renewable Energy. Power for a Sustainable Future. Oxford University Press, Oxford 1996
- [3] Devins D.: Energy: its Physical Impact on the Environment. John Wiley and Sons, New York 1983
- [4] Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council of 27 September 2001 on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market. Official Journal of the European Union, L 283/33
- [5] Directive 2003/54/EC of the European Parliament and of the Council of 26 June 2003 concerning common rules of internal market in electricity and repealing Directive 96/92/EC. Official Journal of the European Union, L 176 15.7.2003
- [6] Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market. Final Version - 23.07.2003
- [7] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady nr 3003/91/WE z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie poprawy efektywności wykorzystania energii w budynkach (Directive on the Energy Performance of Buildings)
- [8] Energy for Tomorrow's World - Acting Now. WEC Statement 2000
- [9] European Commission: Green Paper - Towards a European strategy for the security of energy supply. Brussels 2001
- [10] Gajer M.: Wybrane zagadnienia optymalizacji i doboru turbin elektrowni wiatrowych. Przegląd Elektrotechniczny, Nr 2, 2003
- [11] Garstka J; Oceany i morza źródłem energii elektrycznej. Gospodarka Paliwami i Energią, Nr 6, 1986
- [12] Hau E.: Die zweite Generation. Europäische Windkraftanlagen der Megawatt-Klasse. Energie, No 9, 1987
- [13] Jarzębski Z.M.: Energia słoneczna. Konwersja fotowoltaiczna. PWN, Warszawa 1990
- [14] Kaiser H.: Wykorzystanie energii słonecznej. Wyd. AGH, Kraków 1995
- [15] Kowalska-Bundz A.: Analiza i ocena regulacji prawnych w Polsce i w Niemczech pod kątem wspierania rozwoju generacji rozproszonej. VII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowoczesne urządzenia zasilające w energetyce”, Kozienice, 10-13 marca 2004
- [16] Laudyn D., Pawlik M., Strzelczyk R.: Elektrownie. WNT, Warszawa 1990
- [17] Lorenc H.: Struktura i zasoby energetyczne wiatru w Polsce. IMIGW, Warszawa 1996
- [18] Lorenc H.: Współczesne tendencje zmian prędkości i zasobów energii wiatru w Polsce. Ogólnopolskie Forum Odnawialnych Źródeł Energii, Warszawa, listopad 2002
- [19] Manwell J. E., McGowan J. G., Rogers A. L.: Wind Energy Explained - Theory Design and Application. John Wiley & Sons, Chichester (England) 2002
- [20] Miszczak M., Waszkiewicz Cz.: Energia słońca, wiatru i inne. Instytut Wydawniczy „Nasza Księgarnia”, Warszawa 1988.
- [21] Paska J.: Odnawialne źródła energii. Problemy, Nr 11, 1987
- [22] Paska J: Renewable Bnergies in World's Energy Balance. Archiwum Energetyki, Nr 3-4, 1993.
- [23] II Polityka ekologiczna Państwa. Ministerstwo Środowiska, 2000 r. www.mos.gov.pl
- [24] Polityka ekologiczna państwa na lata 2003-2006 z uwzględnieniem perspektywy na lata 2007-2010. Rada Ministrów, 2003

- [25] Poręba S., Barć W, Gajda A., Jaworski W.: Rynek zielonej energii. Biuletyn Miesięczny PSE, 1/2001
- [26] Prawo ochrony środowiska. Dz. U. Nr 62, poz.627 z dnia 27 kwietnia 2001
- [27] Projekt Polityki Klimatycznej Polski. Ministerstwo Środowiska 2003 r. www.mos.gov.pl
- [28] Pluta Z-- Podstawy teoretyczne fototermicznej konwersji energii słonecznej. OWPW, Warszawa 2000
- [29] Pluta Z.: Słoneczne instalacje energetyczne. OWPW, Warszawa 2003
- [30] Regulation (EC) No 1228/2003 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2003 on conditions for access to the network for cross-border exchanges in electricity. Official Journal of the European Union, L 176 15.7.2003
- [31] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 25 września 2000 w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, obrotu energią elektryczną, świadczenia usług przesyłowych, ruchu sieciowego i eksploatacji sieci oraz standardów jakościowych obsługi odbiorców. Dz. U. Nr 85, poz. 957
- [32] Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 30 maja 2003 w sprawie szczegółowego zakresu obowiązku zakupu energii elektrycznej i ciepła z odnawialnych źródeł energii oraz energii elektrycznej wytwarzanej w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła. Dz. U. Nr 104, poz. 971
- [33] Różycki M.: Elektrownia wiatrowa z indukcyjną maszyną pierścieniową. *Przegląd Elektrotechniczny*, Nr 4-5, 1990
- [34] Smolec W: O możliwościach wykorzystania energii słonecznej w Polsce. *Energetyka*, Nr 8, 1987
- [35] Spójna polityka strukturalna rozwoju obszarów wiejskich i rolnictwa z dnia 13 lipca 1999 r., www.ib-mer.waw.pl
- [36] Staniszewski A.: Zarys elektrowni. WPW, Warszawa 1983
- [37] Statystyka elektroenergetyki polskiej 2002. Agencja Rynku Energii SA, Warszawa 2003
- [38] Strategia rozwoju energetyki odnawialnej. Ministerstwo Ochrony Środowiska. Warszawa, wrzesień 2000
- [39] Strategia zrównoważonego rozwoju Polski do roku 2035. Ministerstwo Środowiska. Monitor Polski Nr 8 z dnia 11 marca 1999 r. Poz. 96
- [40] Ustawa Prawo energetyczne z dnia 10 kwietnia 1997 r. wraz z późniejszymi zmianami, www.ure.gov.pl
- [41] Ustawa z dnia 26 lipca 2002 r. o ratyfikacji Protokołu z Kioto do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu. Dz. U. 2002 nr 144, poz. 1207
- [42] World Energy Outlook. OECD/IEA, Paris 2000
- [43] Założenia polityki energetycznej państwa. Minister Gospodarki, 2000